

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-198870  
(P2001-198870A)

(43)公開日 平成13年 7月24日 (2001. 7. 24)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
B 2 5 J 13/08		B 2 5 J 13/08	Z 3 F 0 5 9
G 0 5 B 19/18		G 0 5 B 19/18	C 5 H 2 6 9

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2000-13108(P2000-13108)

(22)出願日 平成12年 1月21日 (2000. 1. 21)

(71)出願人 000006622

株式会社安川電機

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号

(72)発明者 安田 賢一

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号

株式会社安川電機内

(72)発明者 井上 康之

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号

株式会社安川電機内

(74)代理人 100105647

弁理士 小栗 昌平 (外 6 名)

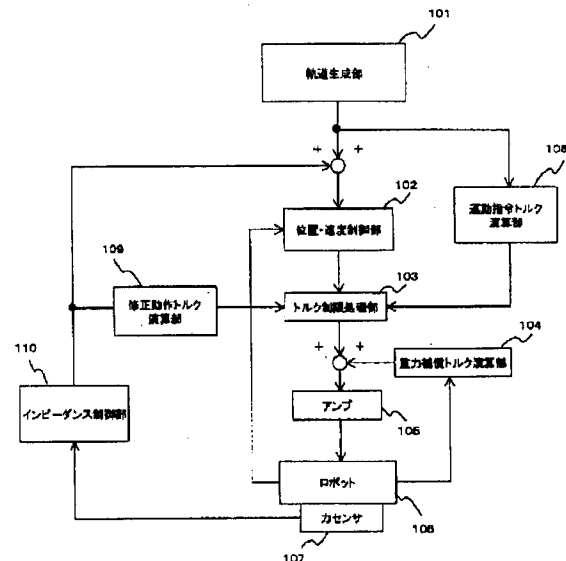
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 ロボットの制御装置

(57)【要約】

【課題】 固い対象物でも安定して高精度な力制御を実現すると同時に、アームのどの部分に接触しても柔軟な特性をもつことを実現する制御装置を提供する。

【解決手段】 ロボットの位置、速度の状態フィードバックを施し、関節を駆動するモータの制御回路と、力センサからのフィードバックによる力制御回路を備えたロボットの制御装置において、モータの動作指令または／およびフィードバックからモータの加速トルクおよび速度を維持するためのトルクを算出する手段 101、102と、上記加速トルクと速度維持トルクを加算してモータの運動に必要なトルクを算出する手段 108と、力制御部 110 から出力される修正動作指令から修正動作に必要なトルクを算出する手段 109と、上記モータの運動に必要なトルクと修正動作に必要なトルクからロボットの発生トルクを制限する手段 103とを設けた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ロボットの位置、速度の状態フィードバックを施し、関節を駆動するモータの制御回路と、力センサからのフィードバックによる力制御回路を備えたロボットの制御装置において、

モータの動作指令または／およびフィードバックからモータの加速トルクおよび速度を維持するためのトルクを算出する手段と、  
上記加速トルクと速度維持トルクを加算してモータの運動に必要なトルクを算出する手段と、  
力制御部から出力される修正動作指令から、修正動作に必要なトルクを算出する手段と、  
上記モータの運動に必要なトルクと、修正動作に必要なトルクからロボットの発生トルクを制限する手段と、  
を有することを特徴とするロボットの制御装置。

【請求項2】 ロボットの位置、速度の状態フィードバックを施し、関節を駆動するモータの制御回路と、力センサからのフィードバックによる力制御回路を備えたロボットの制御装置において、  
モータの動作指令または／およびフィードバックからモータの加速トルクおよび速度を維持するためのトルクを算出する手段と、  
上記加速トルクと加速維持トルクを加算してモータの運動に必要なトルクを算出する手段と、  
力制御部から出力される修正動作指令から、修正動作に必要なトルクを算出する手段と、  
上記モータの運動に必要なトルクからロボットの発生トルクを制限する手段と、  
上記修正動作に必要なトルクをトルク指令に加える手段と、  
を有することを特徴とするロボットの制御装置

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ロボット制御装置における力センサフィードバックを用いた制御装置に関

$$M \ddot{x} + B \dot{x} + K x = F$$

ここで、Mは仮想慣性、Bは仮想粘性、Kは仮想剛性であり、xは平衡点からの変位（位置修正量）を、Fは計測した力を示す。

この式から修正量xを演算し、軌道生成部901から出された位置指令値にこの修正量を加えたものを新たな位置指令値として位置・速度制御部902へ出力する。位置・速度制御部902ではこの新たな位置指令値を基にロボット906への制御指令を出力し、アンプ905で増幅された後、ロボット906に与えられる。このように、ロボットアーム先端が検出した反力に応じて位置を制御することにより、対象物に加わる力を制御することが可能である。この制御方式は上記インピーダンスモデルによる偏差を速度や位置の指令としてサーボ系に入力

し、特に組み立て作業などの接触作業を行なうのに適した制御を実現する制御装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 第6図のようにロボット601が作業対象604に対して力を加えながら作業を行なう場合がある。このとき、手先に取り付けられた力センサ602の情報に応じてロボットアーム先端603から作業対象604に加わる力を制御することで、所望の力を加えながら作業を行なうことが可能である。このように、ロボットアームが対象物に対して接触作業を行なうための力制御法の1つとして、インピーダンス制御が知られている。これは、第7図に示すように、ロボットアーム704の動的な応答が仮想的に設定された慣性701、粘性702、剛性703からなる機械的なインピーダンスになるように、作業対象物705に対する反力に応じてロボットアーム先端の運動を制御するものである。この制御はロボットアームの手先に備えた力センサ602によって外力を計測し、第8図のように目標インピーダンスモデル802によって目標軌道に対する偏差を計算し、目標軌道と偏差との和を運動指令としてサーボコントローラ801に与える制御方式である。第9図に従来のインピーダンス制御のブロック図を示す。軌道生成部901では現在のロボットの指令位置に対して、指定座標系から基準座標系に変換された増分値が生成される。基準座標系は通常ロボットのベースを中心とした直交座標系で表現されるため、実際のロボットの動作を行なうためにロボットの関節座標系の角度増分値に変換される。その後、モータへの回転指令として、各関節の位置・速度制御部902へ送られる。ロボットアーム先端に装着された力センサ907により検出された反力は作業座標系での力・トルクへ座標変換され、インピーダンス制御部910によって目標軌道に対する修正量を作成する。インピーダンスモデルは式（1）で表される。

## 【数1】

$$\dots (1)$$

することになるので、現在の位置制御方式の産業用ロボットで容易に実現できる。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、仮想粘性を小さくすると、固い対象物に接触したときに、制御系の安定性が低下することが知られている。また、インピーダンス制御に限らず、力制御を適用したロボットアームを剛性の高い対象物に接触させると、制御系が不安定になることが知られている。この不安定化の主な要因として以下の点が挙げられる。

1) 剛性の高い対象物との接触は、力制御ループのゲインが高くなることを意味し、カフィードバックに対するロボットアームの応答の遅れ（位相遅れ）により不安定

になる。

2) インピーダンスモデルの仮想粘性を小さくすると、共振周波数付近で急激に位相遅れが生じる。従って、インピーダンス制御の場合は、接触を安定させるために仮想粘性を大きく設定する必要がある、設定の自由度が小さくなる。また、仮想粘性が大きいと外力に対する応答性が低下するため接触力が大きくなり、対象物やロボットアームを破損する恐れがある。このため、対象物への接近速度を十分に小さくする必要がある。以上のようなことにより、安定性が失われてロボットアームの跳ね返りが起こったり、あるいは対象物に過大な接触力が発生することで、高精度な接触作業が困難になるといった問題があった。また、これはインピーダンス制御だけでなく、他の力制御手法にも同様の問題があった。さらに、力センサが装着されている部分よりも根元の部分は力センサで反力を検出できないため、ロボットアームが周辺物体などに接触した場合は大きな制御偏差が生じ、対象物やロボット自体が破損するおそれがあった。そこで本発明は、固い対象物でも安定して高精度な力制御を実現すると同時に、アームのどの部分に接触しても柔軟な特性をもつことを実現するための制御装置を提供するものである。

#### 【0004】

【課題を解決するための手段】上記問題を解決するため、本発明は、ロボットの位置、速度の状態フィードバックを施し、関節を駆動するモータの制御回路に、力センサからのフィードバックによる力制御回路を加えた、ロボットの制御装置において、モータの動作指令または／およびフィードバックからモータの加速トルクおよび速度を維持するためのトルクを算出する手段と、上記加速トルクと速度維持トルクを加算してモータの運動に必要なトルクを算出する手段と、力制御部から出力される修正動作指令から、修正動作に必要なトルクを算出する手段とを有し、上記モータの運動に必要なトルクと、修正動作に必要なトルクからロボットの発生トルクを制限する手段、あるいは上記モータの運動に必要なトルクからロボットの発生トルクを制限する手段と、上記修正動作に必要なトルクをトルク指令に加える手段と、を有することを特徴とするものである。

#### 【0005】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図に基づいて説明する。第1図は本発明の第1の実施の形態を示している。101は軌道生成部、102は位置・速度制御部、103はトルク制限処理部、104は重力補償トルク演算部、105はアンプ、106はロボット、107は力センサ、108は運動指令トルク演算部、109は修正動作トルク演算部、110はインピーダンス制御部である。軌道生成部101では現在のロボットの指令位置に対して、指定座標系から基準座標系に変換された増分値が生成される。基準座標系は通常は、ロボッ

トのベースを中心とした直交座標系で表現されるため、実際のロボットの動作を行なうためにロボットの関節座標系の角度増分値に変換される。その後、モータへの回転指令として、各関節の位置・速度制御部102へ送られる。位置・速度制御部102の処理系では位置制御および速度制御が施される。位置制御では一般的に比例制御が用いられ、速度制御系では比例積分制御などが用いられる。ここで、まず、ロボットアーム先端に力が加わっていない場合を説明する。運動指令トルク演算部108の制御系は、運動指令に対して必要となるトルクを演算する部分である。通常のロボットの運動で必要となるトルクは、(1)ロボットアームとロボットアーム先端の両者の慣性の負荷を加速する加速トルク、(2)通常の運動状態で速度を維持するための速度維持トルクの2種類である。加速トルクは慣性と加速度の積から必要となるトルクが算出される。慣性の情報は、以下のいずれかの方法が用いられる。

1) ロボットの動きに応じて変動する値を演算により求める。

2) 適応オブザーバなどのパラメータ同定手法を用いて推定する。

3) 代表的な慣性の値を用いる。

また、速度維持トルクはほぼ動摩擦の値に等しい。従って、あらかじめ求めた速度と摩擦の関係から、現在の指令速度によって必要なトルクを求めることができる。ただし、上記加速トルクと速度維持トルクはインピーダンス制御部110からの出力である動作修正量を加える前の、軌道生成部101の出力に対するものである。この運動指令トルク演算部108で算出されたトルクの加算値はロボットが運動を行なうトルクとほぼ等しい値である。計算結果はトルク制限処理部103へ入力される。ここでは、前段の演算をもとに位置・速度制御部102で発生するトルクの制限値を演算し、トルクの制限処理を行なう。制限値は運動指令トルク演算部108で演算された値に適度な幅を設けることにより求めることができる。ここで適度な幅を設ける理由は、指令トルクと発生トルクが必ずしも一致していないことがあるため、その誤差を吸収すること、また、時間的な発生トルクのずれを吸収することのためである。時間的なずれの補償とは、指令値により発生トルクを演算した瞬間のトルクと位置・速度制御部102で発生するトルクが時間的なずれを生ずる可能性があり、その誤差をトルクの制限の幅で吸収することである。この時間的なずれは運動指令トルク演算部108の出力に時間遅れを補償するフィルタを挿入することでも吸収することができる。フィルタは一般的な1次遅れフィルタや2次遅れフィルタにより調整することが可能である。このようなトルク制限を設けることによる物理的な作用の説明を行なう。位置・速度制御部102ではロボットに外部からの力が作用した場合、位置偏差と速度偏差が発生する。位置偏差は定数倍

され速度指令となり速度偏差は比例積分制御され、その出力はモータのトルク指令となる。ロボットに特別の外力が作用しない場合、モータで発生すべきトルクは加速トルク、速度維持トルクの2つである。通常の動作でロボットが運動するためには上記のトルクを発生すれば良い。ところが、ロボットに外部から力が作用する（またはロボット自身が外部に接触する）場合には、外力によりロボットが動作し前述の制御偏差が発生することになる。従って、その時の指令トルクは運動指令トルク演算部108で演算を行ったトルクの制限域から逸脱したものになる。制限がなければその可能な限りのトルクが発生することになる。適度に制限された場合には制限内のトルクが発生し、外部からの力により偏差を許すことになり、すなわちロボットが外力により動くことになる。また、重力方向に動くロボットではロボットの姿勢に応じて重力トルクが重力補償トルク演算部104で演算され補償されるため、トルク制限処理部103により位置・速度制御部102のトルクが小さく抑えられた場合でも、ロボットアームが重力で落下するなどのことは起こらない。

【0006】次に、トルクの制限の方法を第4図を用いて具体的に述べる。第4図(a)はロボットアームの1つの関節401の運動に着目した場合である。関節401の運動は、時点P1で加速開始し、時点P2で等速開始し、時点P3で減速開始し、時点P4で停止するものであるとする。そのための具体的な運動指令は、第4図(b)で示されるような加速、等速、減速の運動指令で与えられるものとする。第4図(c)は運動指令トルク演算部108(図1)の演算結果であり、第4図(d)は時間遅れを考慮して加速トルク演算結果(点線)に一次フィルタを通した結果(太線)の図である。また、第4図(e)の太線は第4図(d)の太線と同じで一次フィルタを通した結果を表し、細線はトルク制限処理部103でのトルク制限の上限値と下限値を表している。すなわち、このトルク制限によって、運動指令に対するトルクを補償しつつ、ロボットアームが周辺物体に衝突して制御偏差が大きくなった場合でも、外力に応じてロボットアームが柔軟に曲ることが可能になる。このトルク制限処理部103はセンサを用いない柔軟制御を実現するものである。ロボットアームのどの部分でも柔軟な特性を持たせることができる。次に、ロボットアーム先端が対象物に接触した場合について説明する。インピーダンス制御部110(図1)は力センサフィードバックによる力制御を行なうブロックである。ロボットアーム先端に取り付けられた力センサ107によって計測された反力は作業座標系に座標変換された後、所望のインピーダンスモデルに応じて、位置修正量を演算する。位置修正量は座標変換によって、ロボットの各関節毎の増分値に変換され、軌道生成部101から生成された増分値に加算される。さらに、修正動作トルク演算部109

において、目標インピーダンスを実現するためのトルクを演算する。ここでその一例を示す。ここで上記運動指令トルク演算部108と同じように加速トルク、速度維持トルクを演算したのでは、速度、加速度自体が大きく変動しているため、トルク制限処理部103に入力するトルクも大きく変動するものになってしまう。そこで、インピーダンスを実現するためのトルクを式(2)のようにする。

【数2】

$$T_{imp} = T_{fric} - J^T F_{ref} \quad \dots (2)$$

ここで、 $T_{imp}$  はインピーダンスを実現するためのトルク、 $T_{fric}$  は各関節の摩擦分のトルク、 $J^T$  はヤコビ行列の転置行列、 $F_{ref}$  はインピーダンス分(慣性、粘性、剛性)の力である。

$F_{ref}$  はインピーダンス制御部110で設定したインピーダンスモデルに応じて演算可能である。また、 $T_{fric}$  はインピーダンス制御部110の出力の速度で演算を行なうと、その速度が安定したものではないため、例えば、 $F_{ref}$  の情報をもとに演算を行なう。ここで、修正動作トルク演算部109から出力された値をトルク制限処理部103に入力することにより、トルク制限処理部103において、運動指令トルクと修正動作トルクを加えた、上限・下限のトルク制限値が生成される。次にトルク制限処理部103の機能を説明する。ロボットアーム先端が対象物に接触して作業を行なう場合、もし対象物が固い物体であれば跳ね返りや振動など制御的に不安定な状態になる。上記で述べたのと同様に、このときトルク制限がされていなければ、可能な限りのトルクが発生し、大きな跳ね返りや振動が起こってしまう。トルク制限処理部103において適度に制限された場合には、位置・速度制御部102から出力されたトルク指令が上限、あるいは下限のトルク制限値に張り付いてしまうか、もしくは振動したとしてもトルク制限値以内におさまるので、安定した接触が実現される。また、ある一定の幅を持たせているので、(2)式によるインピーダンスを実現するためのトルクの演算誤差を吸収することが可能である。

【0007】第2図は第2の実施の形態を示している。201は軌道生成部、202は位置・速度制御部、203はトルク制限処理部、204は重力・摩擦補償トルク演算部、205はアンプ、206はロボット、207は力センサ、208は運動指令トルク演算部、209は修正動作トルク演算部、210はインピーダンス制御部である。上記第1の実施の形態では、修正動作トルク演算部109の出力をトルク制限処理部103へ入力していたが、ここでは第2図のように修正動作トルク演算部209の出力をトルク制限処理後の指令トルクに直接加えているのが特徴である。この場合も位置・速度制御部202からのトルク指令はトルク制限処理部203により

トルクが制限されているので、上記と同様の効果が期待できる。すなわち、接触安定性を保って精密な力制御が可能となる。さらに、第3図は第3の実施の形態を示している。301は軌道生成部、302は位置・速度制御部、303はトルク制限処理部、304は重力・摩擦補償トルク演算部、305はアンプ、306はロボット、307は力センサ、308は運動指令トルク演算部、309は修正動作トルク演算部、310はインピーダンス制御部である。ここでは、304において図1の重力補償トルクの演算部108に加えてロボットからの状態フィードバックにより摩擦補償トルクの演算部を加えているのが特徴である。また、これを考慮して運動指令トルク演算部308で速度維持トルクが演算される。このように摩擦補償を加えることにより、各関節の柔軟性が向上するという効果がある。ここではインピーダンス制御を例にとって説明したが、力センサの力フィードバックを用いるさまざまな力制御で、同様の問題解決が図れる。

【0008】第5図は上記各実施の形態に用いられるハードウェア構成を示している。第1図の軌道生成部101が第5図の軌道発生ブロック500と軌道生成ブロック510に対応している。軌道発生ブロック500において、ティーチングペンダントで教示したデータは不揮発性メモリ506に記憶される。また、ロボットの機能的、制御的なパラメータもこの不揮発性メモリに記憶されており、バスで共有化されている。軌道発生機能はROM504に格納されたプログラムをCPU503が実行することによって実現される。軌道生成ブロック510においては、軌道生成や座標変換の機能はROM513に格納されたプログラムをCPU512が実行することによって実現される。また、第1図の位置・速度制御部や運動指令トルク演算部108、インピーダンス制御部110、修正動作トルク演算部109、トルク制限処理部103などが第5図の運動制御ブロック520のソフトウェアとして実現される。第1図、第2図、第3図における位置・速度制御や力制御は運動制御ブロック520のサーボ基板521の中のROM523にプログラムされている。このプログラムをCPU522が読み込んで実行することによって実際にトルク制限処理が行われ、その結果がサーボアンプ526に出力される。また、力センサや力情報の取り込みはセンサブロック530で構成される。力センサ536からの検出信号がセンサ基板531内のAD変換部533に読み込まれ、ROM534の命令にしたがってCPU532が検出信号を処理し、インピーダンス制御などの力制御手段によって位置修正量等がバス変換部535へ出力する。それぞれのブロック500、510、520、530は共有バス550によって接続されているので、センサブロック530からの位置修正量は共有バス550によって運動制御ブロック520へ送られ、そのバス変換部525を介

してCPU522に入る。CPU522はこの位置修正量を読み込んでトルク制限処理を実行し、サーボIF524を介してその結果をサーボアンプ526に出力する。サーボアンプ526はロボット540を駆動し、そのロボットのモータも回転状況はサーボモータエンコーダ541によってサーボアンプ526へフィードバックされる。

#### 【0009】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、上下に設定されたトルク制限により、固い対象物との接触でも安定した接触を可能とし、高精度な接触作業を実現するロボットの制御装置を提供することができる。さらに、力センサが検出できない部分で接触してもよい柔軟な動作が可能となるので、周辺物体に衝突しても安全なロボットを提供できる。このように、本発明の制御装置によって力センサを用いた高精度な力制御と力センサレスの柔軟な制御の両方のメリットが享受できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示す制御ブロック図

【図2】本発明の第2の実施の形態を示す制御ブロック図

【図3】本発明の第3の実施の形態を示す制御ブロック図

【図4】本発明の作用を示す図

【図5】各実施の形態で用いられるハードウェア構成を示す図

【図6】本発明で想定する接触作業の概念を示す図

【図7】本発明に適用されるインピーダンス機構の概念を示す図

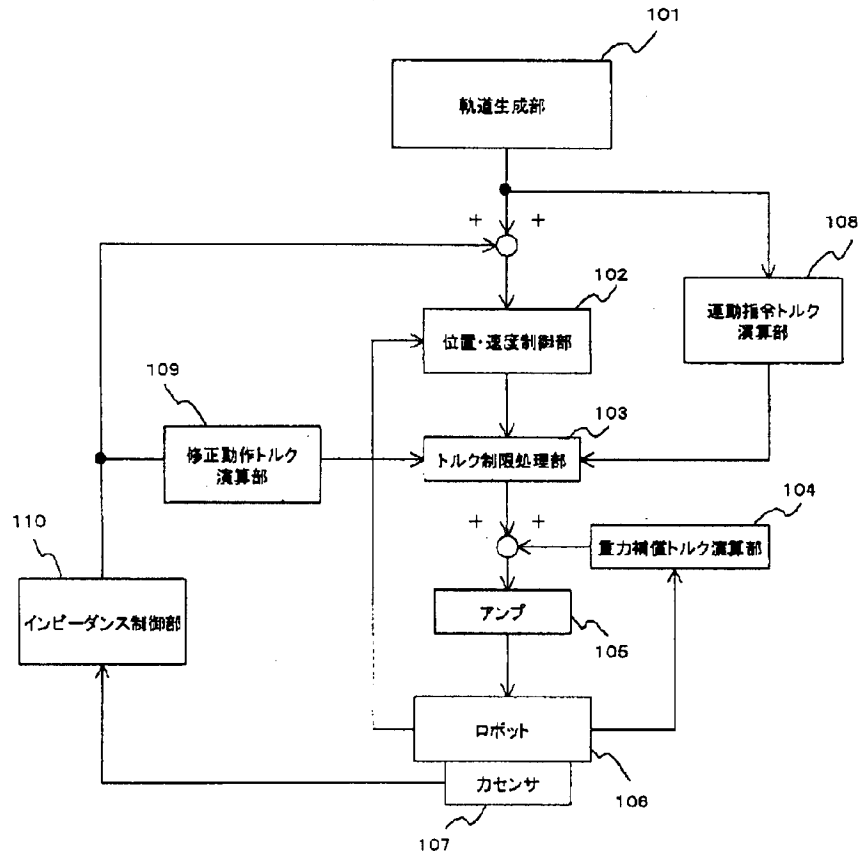
【図8】本発明に適用されるインピーダンス制御の概念を示す図

【図9】従来のインピーダンス制御ブロック図

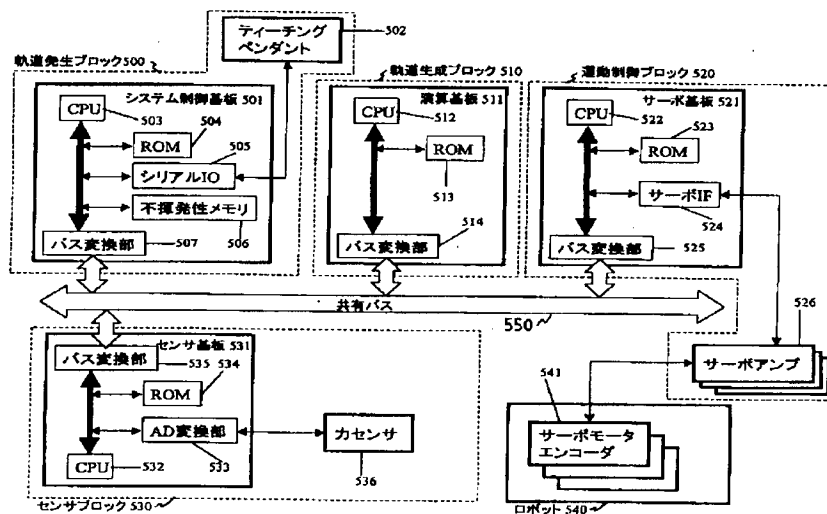
#### 【符号の説明】

101、201、301	軌道生成部
102、202、302	位置・速度制御部
103、203、303	トルク制限処理部
104、204、304	重力補償トルク演算部
105、205、305	アンプ
106、206、306	ロボット
107、207、307	力センサ
108、208、308	運動指令トルク演算部
109、209、309	修正動作トルク演算部
110、210、310	インピーダンス制御部
500	軌道発生ブロック
510	軌道生成ブロック
520	運動制御ブロック
530	センサブロック
540	ロボット
550	共有バス

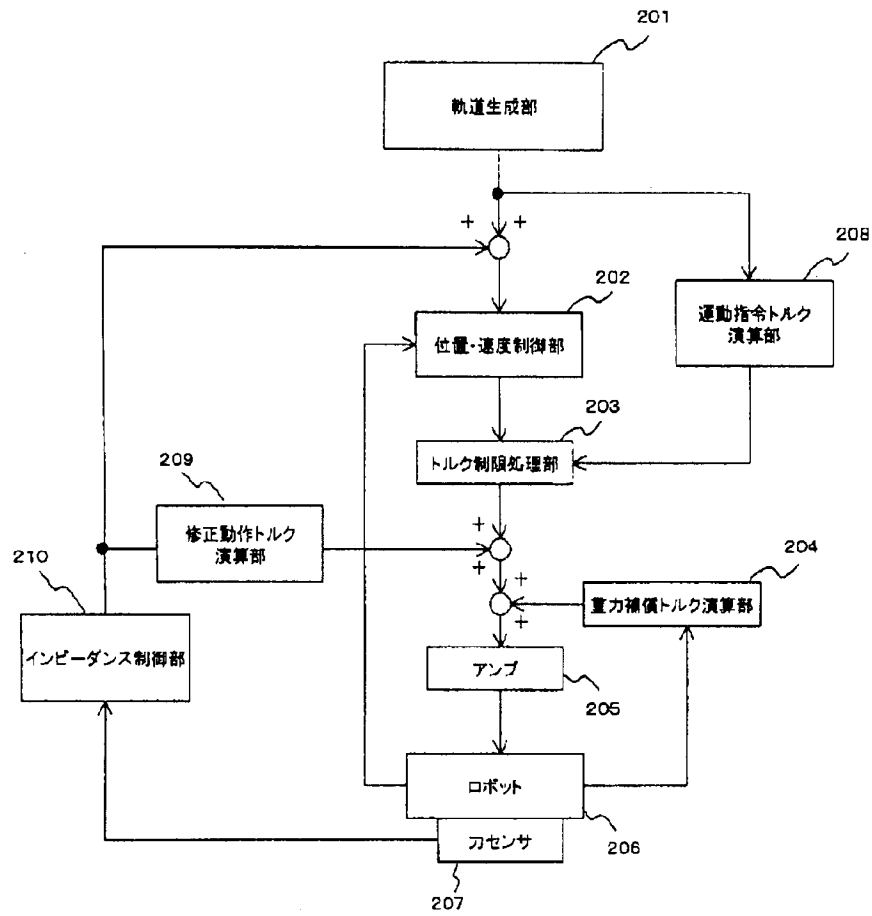
【図1】



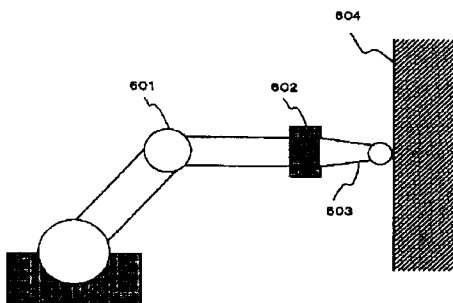
【図5】



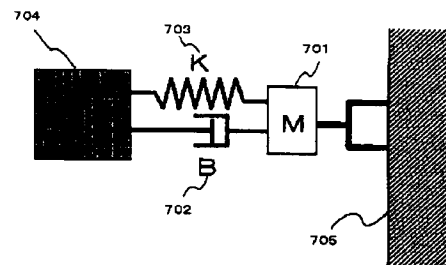
【図2】



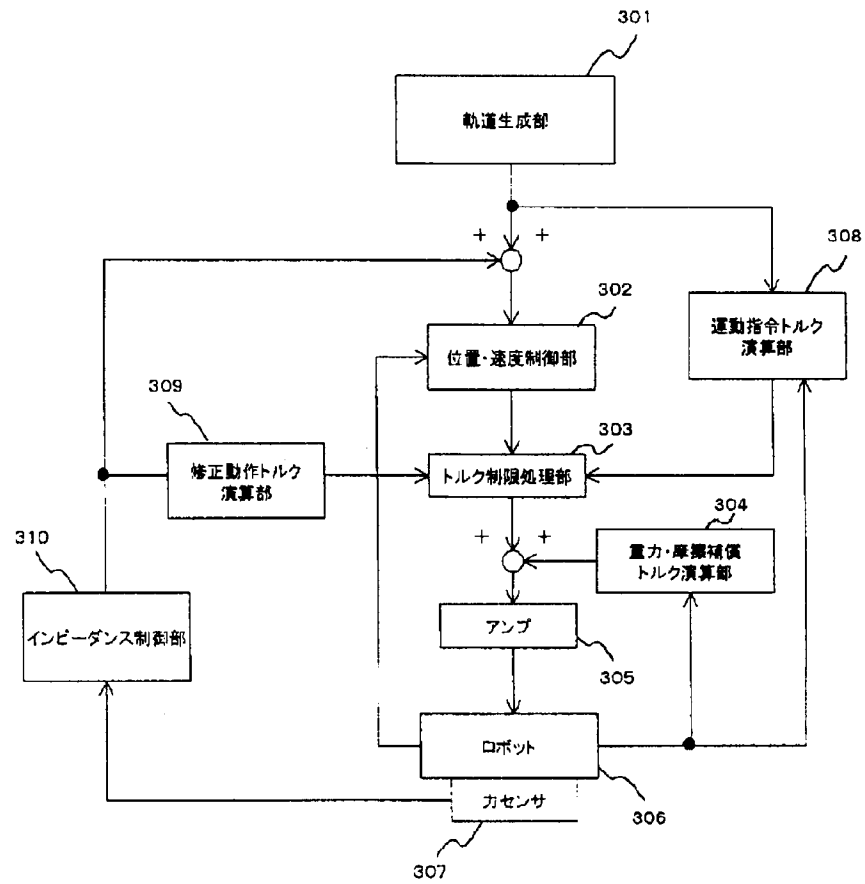
【図6】



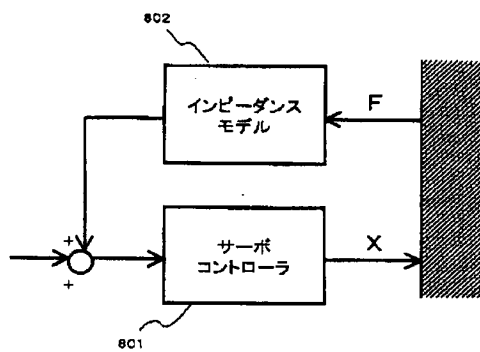
【図7】



【図3】

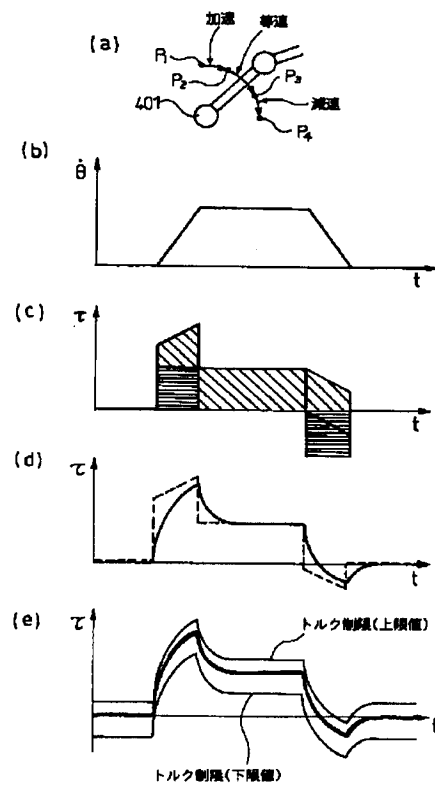


【図8】

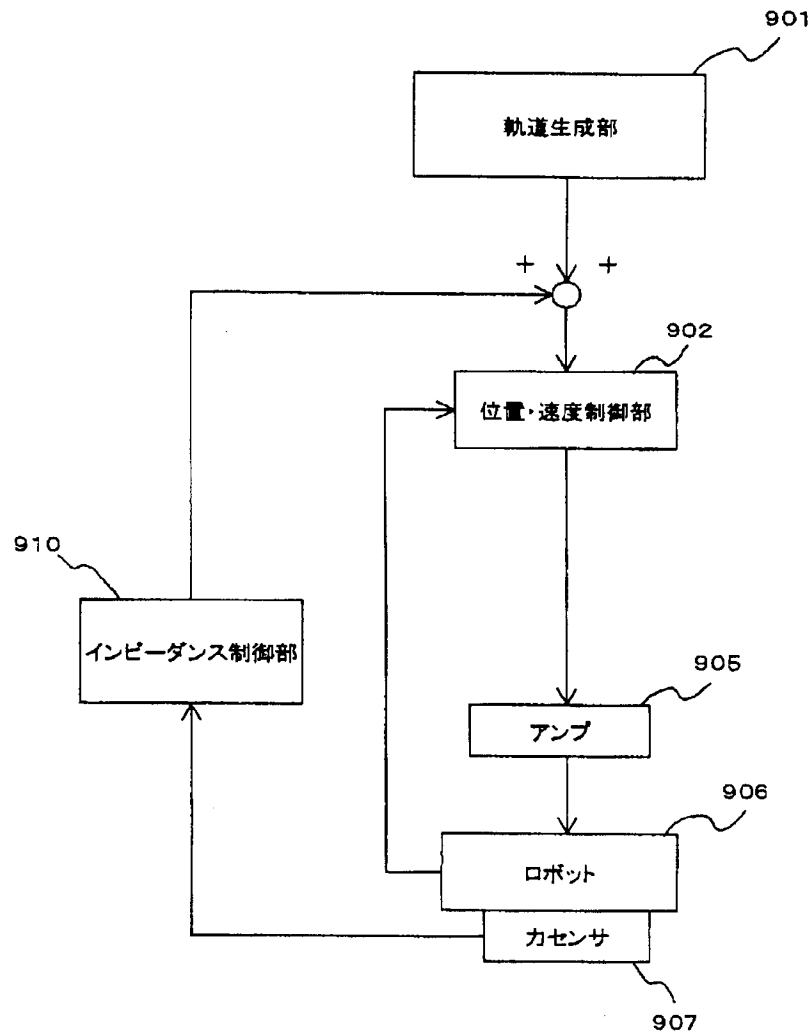




【図4】



【図9】



フロントページの続き

(72) 発明者 永田 英夫  
 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号  
 株式会社安川電機内

Fターム(参考) 3F059 AA03 DA07 DC04 DE03 FB13  
 FB29 FC03  
 5H269 AB22 AB33 BB03 CC09 EE01  
 GG02 NN07